

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物及地球科學科

031709

當我們銅在一起

學校名稱：桃園縣私立六和高級中學(附設國中)

|   |              |
|---|--------------|
| 作者：<br>國二 徐子淵<br>國二 高崇恩<br>國二 陳靖弘<br>國二 戴紹軒 | 指導老師：<br>吳曉青 |
|---|--------------|

關鍵詞：濾材、銅離子、沼蝦生存

## 壹、摘要

重金屬污染日趨嚴重，引起我們的注意。將 50mg/L 銅離子水溶液進行以沸石、便宜活性炭、陽離子交換樹脂、碎磚頭、石英石、蛇木屑、椰殼活性炭、麥飯石、稻桿為濾材的過濾實驗。藉導電度的測量了解過濾時水中離子變化。以酸鹼度推測銅離子的變化，因硫酸銅在水中可解離形成銅離子與硫酸根離子。銅離子會與水結合成為氫氧化銅與氫離子，氫離子增加使水溶液呈酸性。

實驗發現銅離子濃度與沼蝦存活率成反比。但有些標榜過濾重金屬的濾材，含金屬氧化物，雖然可以吸附銅離子，但其過濾出水溶液卻對沼蝦更具毒性。工廠若排放含重金屬之污水，一旦進入環境中，可能所產生的交互作用遠超出我們的預期，影響環境生態，請大家重視排放廢水及重金屬的問題。

## 貳、研究動機

十月中旬耳聞行政院環境保護署推動世界水質監測日的活動，引發我們對於水污染防治的重視。老師提供了關於水污染相關訊息，讓我們了解桃園境內有許多工業區，在製造 IC 電路板的過程中排放工業廢水，若這些廢水沒有適當的處理就排放出來將會造成附近水域污染，就如同新聞報導上指出香山綠牡蠣或是二仁溪事件影響生態。我們希望藉由環境的素材或是常見的濾材進行銅離子過濾實驗，並找出最適合過濾銅離子的材料。



大河戀部落格-二仁溪銅離子污染



大河戀部落格-二仁溪污染魚群暴斃



奇摩圖檔-河川污染



奇摩圖檔-河川污染



奇摩圖檔-河川污染



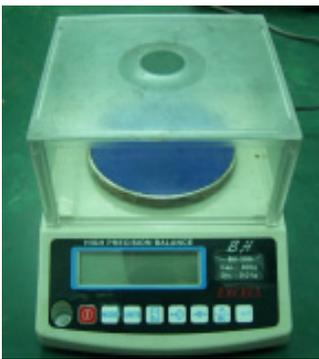
奇摩圖檔-污水排放

## 參、研究目的

- 一、選用適當之生物進行實驗，並觀察其基本特性。
- 二、尋找可以利用的濾材並進行初步評估。
- 三、針對各種濾材進行硫酸銅溶液過濾實驗並了解其導電度與酸鹼度變化。
- 四、進行硫酸銅過濾液急毒性檢測實驗。
  - (一) 將九種過濾材料過濾液個別進行兩小時生物急毒性檢測。
  - (二) 將九種過濾材料過濾液全體進行兩小時生物急毒性檢測。
  - (三) 長、短時間過濾對於生物急毒性的影響。
  - (四) 兩種組合濾材之硫酸銅過濾對於生物急毒性的影響。

## 肆、研究設備及器材

- 一、設備：三層過濾盒組、桌上型 pH 計、導電度計、電子秤、養殖槽、打氣幫浦、玻璃棒、試管、定量瓶、滴定管、濾水網、量筒、燒杯、漏斗、解剖盒、解剖顯微鏡、複式顯微鏡、Nikon4200 照相機。



電子秤



桌上型 pH 計



導電度計

- 二、器材：沼蝦、飼料、撈蝦網、鋁箔紙、標籤紙、封口膜、紙張、記錄本。
- 三、藥品：含水硫酸銅。

| CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O | 性質  | 應用             | 人的急性生理反應  |
|---------------------------------------|---|----------------|---|
|                                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 藍色的顆粒狀粉末，無水時則呈白色。</li> <li>2. 水溶液呈微酸性。</li> <li>3. 具有毒性。</li> </ol> | 電鍍<br>農藥<br>除藻 | 急性口服攝入低劑量 250 mg 硫酸銅。<br><ol style="list-style-type: none"> <li>1. 迅速的胃腸道刺激作用。</li> <li>2. 可造成肝臟及腎臟傷害。</li> </ol> |

- 四、濾材：(1)火山沸石 (2)便宜活性炭 (3)陽離子交換樹脂
- (4)碎磚塊 (5)石英石 (6)蛇木屑
- (7)椰殼活性炭 (8)麥飯石 (9)稻桿

## 伍、研究過程與結果

### 一、選用適當之生物進行硫酸銅急毒性實驗

#### 過程

#### (一) 挑選蜆、蝦、螺進行評估：

1. 分類：設定實驗生物是以無脊椎動物為主。
2. 來源：主要以方便取得為原則。
3. 數量：需要數量穩定的生物進行實驗。
4. 活動：找出容易觀察的生物。
5. 以硫酸銅溶液進行實驗觀察：是否容易觀察死亡情形。

#### 結果

| 常見生物         | 黃金蜆  | 沼蝦  | 福壽螺  |
|--------------|--|---|--|
| 評估項目         |  |  |  |
| 分類           | 無脊椎動物  | 無脊椎動物   | 無脊椎動物  |
| 來源           | 菜市場  | 水族館   | 田間水溝池塘   |
| 數量           | 穩定   | 穩定  | 不穩定  |
| 活動           | 不明顯  | 明顯  | -  |
| 以硫酸銅溶液進行實驗觀察 | 貝殼緊閉，無法觀察是否死亡。   | 活動力逐漸降低，鰓的顏色改變為藍色並且不再擺動，翻肚死亡。   | -  |
| 評估結果         | 不佳   | 佳   | 不佳   |

#### (二) 來源與飼養

#### 過程

|    |   |  |
|----|---|--|
| 來源 | 沼蝦來自於長江水族館販售之沼蝦。  |  |
| 飼養 | <p>在設備上選用三層過濾裝置組、40L置物箱、日光燈、網子、簡易打氣過濾裝置二個(如圖 1)。過濾組第一層放置海綿或生物過濾棉，第二層定期更換過濾材料，第三層則放置生物過濾球。</p> |  |

|    |  |
|----|--|
| 觀察 | <p>開始養殖時放入了約 200 隻沼蝦，隔天開始有 10~15 隻死亡。剛死亡的沼蝦呈現白色，經過一段時間後則轉為紅色。因水族館的水常帶有水黴菌，若無法隨時將死亡的飼料蝦撈起，則會使得水黴菌大量生長，並使養殖缸的水混濁，最後導致沼蝦大量暴斃。在養殖時不進行餵食，因為沼蝦無法將食物一次吃完，也會引起細菌大量生長而加速死亡。</p> |
|----|--|

## 結果

我們發現沼蝦並不容易養殖，經評估後無法改善現有養殖設備的情況之下，養殖缸只能當作隔天或是當天臨時安置使用，以等待實驗進行。

## 小技巧

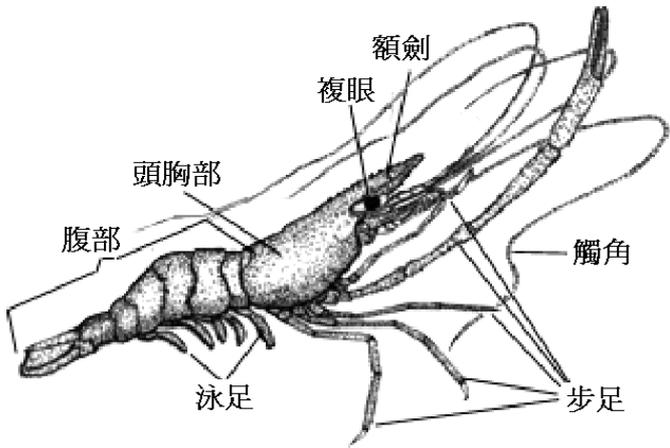
- ◎ 每次買的沼蝦要比實驗的數目多些，方便挑選大小相同且具有活力的沼蝦。
- ◎ 遭遇污染時更換過濾材料並且徹底清洗，無法重複利用者則淘汰換新。
- ◎ 隨時將死亡的蝦撈起，否則會使細菌大量生長，導致養殖缸混濁，最後導致沼蝦大量暴斃。
- ◎ 在養殖時不進行餵食，因為沼蝦無法將食物一次吃完，也會引起細菌大量生長而加速死亡。

### (三) 觀察沼蝦外部與硫酸銅實驗後沼蝦頭胸部構造。

## 過程

1. 利用網路資料確定沼蝦的外部構造並藉由觀察判斷其功能。
2. 以數位相機拍下硫酸銅實驗前後溶液並解剖觀察沼蝦。

## 結果

|    | 沼蝦的外部構造   | 頭胸部觀察  |
|----|---|--|
| 圖片 |    |  |
| 觀察 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 觸角與複眼負責感覺。</li> <li>◎ 額劍與外殼負責保護。</li> <li>◎ 泳足、步足負責運動攝食。</li> <li>◎ 大部分的器官內臟主要分布在頭胸部。<br/>例如：消化管腺與鰓等。</li> </ul> | <p>頭胸部是沼蝦內臟器官主要的地方，觀察沼蝦毒物累積。發現呈放射狀的鰓因為硫酸銅的累積由白轉淡藍色。</p>                              |

## 二、尋找可利用的濾材並進行初步評估

### 過程

〈一〉坊間水族濾材或是生活中常見的材料進行評估。

我們由網路搜尋到許多關於過濾材質的網頁與商品同時試著尋找生活上隨手可得的材料，共有九種編號如下：

- |          |          |            |
|----------|----------|------------|
| (1)火山沸石  | (2)便宜活性碳 | (3)陽離子交換樹脂 |
| (4)碎磚塊   | (5)石英石   | (6)蛇木屑     |
| (7)椰殼活性碳 | (8)麥飯石   | (9)稻桿      |

### 結果

|         | 圖示  | 評估可能特性   |
|---------|---|--|
| 火山沸石    |    | 成分：矽、鋁、氧元素所構成之多機能性無機材料。<br>原理：藉鋁的負電荷可與鈉、鈣、鐵、鎂等陽離子物質結合。<br>構造：天然沸石多孔隙結構可供離子交換。<br>用途：應用於各種產業之脫臭脫色淨化等用途。                             |
| 便宜活性碳   |   | 成分：由無煙煤活化形成。<br>原理：分子或離子間與其他粒子作用力未被平衡或飽和。<br>構造：經高溫水蒸汽活化而成，其外觀為黑色不規則狀顆粒，並具有多孔隙特質。<br>用途：主要用於自來水和工業給水的淨化、脫氯、脫色、除臭，及生活污水與工業廢水之高級處理等。 |
| 陽離子交換樹脂 |  | 成分：樹脂基質-氯化鈉。<br>原理： $Ca^{2+} + 2Na-EX \rightarrow Ca-EX_2 + 2Na^+$<br>構造：圓形光滑粒子，顆粒小。<br>用途：用於硬水的軟化，吸附水中的鈣離子。                       |
| 碎磚頭     |  | 成分：二氧化矽、氧化鋁、氧化鐵。<br>原理：紅土具有黏性，含金屬氧化物，可與其他重金屬離子置換。<br>構造：紅土經窯高溫燒成，具多孔隙。<br>用途：當作建材或是操場跑道材質使用。                                       |
| 石英石     |  | 成分：二氧化矽。<br>原理：具有網狀構造、多孔隙、常與金屬共生。<br>構造：不規則粒狀、具有網狀構造。<br>用途：生物濾材，可培養硝化細菌。  |

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| 蛇木屑       |    | <p>成分：有機物、纖維素、木質素。</p> <p>原理：不明。</p> <p>構造：細長條，內有許多細小的管子。</p> <p>用途：養殖蘭花使用。</p>  |
| 椰殼<br>活性炭 |    | <p>成分：碳。</p> <p>原理：分子或離子間與其他粒子作用力未被平衡或飽和。</p> <p>構造：經高溫水蒸汽活化而成，其外觀為黑色不規則狀顆粒，並具有多孔隙特質。</p> <p>用途：用於自來水和工業給水的淨化、脫氯、脫色、除臭，及生活污水與工業廢水之高級處理等。</p>         |
| 麥飯石       |   | <p>成分：氧化矽和氧化鋁尚有鐵、鈣、錳等。</p> <p>原理：含有沸石，其他重金屬也許有置換可能。</p> <p>構造：分子結構裡有許多小孔，當作過濾材料時，細菌無法通過。</p> <p>用途：強力吸著力可將水銀、鎘等吸附、脫臭。</p>                            |
| 稻桿        |  | <p>成分：有機物、纖維素、木質素。</p> <p>原理：胺基酸的-COOH+ Cu<sup>2+</sup>→胺基酸-COOCu<sup>+</sup>+ H<sup>+</sup>。</p> <p>構造：細長條，內有許多細小的管子。</p> <p>用途：燒成灰後灑在土壤中可改良土壤。</p> |

#### 四、針對各種濾材進行硫酸銅溶液過濾實驗並了解其導電度與酸鹼度變化。

##### 過程

##### (一) 找出急毒性檢測實驗兩小時內最低致死濃度：

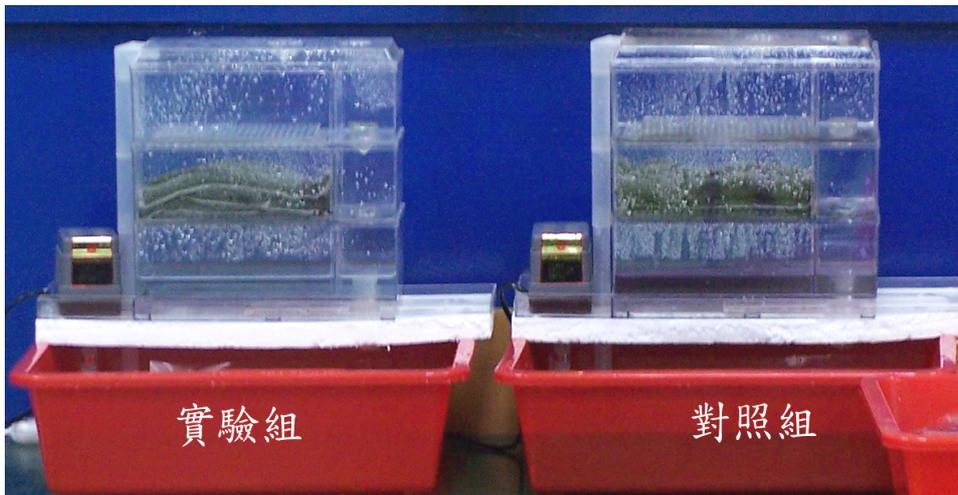
1. 配置銅離子水溶液其濃度為 200mg/L、400mg/L、600mg/L 各 1 升燒杯。
2. 將上述燒杯分別放入五隻身長(2cm~4cm)的沼蝦，每小時觀察一次。
3. 以三明治法逐漸將銅離子濃度的範圍縮小。
4. 最後決定以銅離子 50mg/L 濃度的水溶液當作銅離子模擬污水濃度。

##### (二) 銅離子模擬污水配置：

1. 配置銅離子溶液 10000mg/L 之貯存液，進行實驗時才用自來水配置成 50mg/L 之硫酸銅溶液 10 升。

(三) 硫酸銅溶液過濾方法：

1. 配置含 50mg/L 銅離子的硫酸銅水溶液 10 升做為實驗組；以自來水 10 升作為對照組，使用三層過濾裝置(如圖 1)進行過濾實驗。
2. 以沸石、便宜活性碳、陽離子交換樹脂、碎磚頭、石英石、蛇木屑、椰殼活性碳、麥飯石、稻桿等。將九種濾材過濾一小時。除了蛇木與稻桿秤取 100g 進行實驗，其餘秤取 500g 進行實驗。
3. 每十分鐘進行實驗組與對照組取樣三次，並測量並紀錄下導電度與 pH 值。
4. 每十分鐘留樣，並送至 ICP-OES 檢驗，測定銅離子濃度變化，作為實驗參考。
5. 實驗組與對照組在 T=0 及 T=60 分別以兩個 1 升燒杯取樣。隔日進行硫酸銅過濾液急毒性檢測。
6. 觀察硫酸銅過濾前後液體外觀變化並記錄。



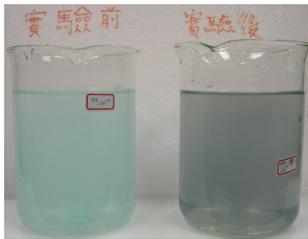
(圖 1)過濾裝置

**結果**

1.將各種材料的導電度與酸鹼度進行整理得到下列表格： (請參考數據一)

| 編號 | 過濾材料    | 導電度變化 | 推測水中離子變化 | 酸鹼度變化 | 推測水中銅離子變化 |
|----|---------|-------|----------|-------|-----------|
| 1  | 火山沸石    | 下降    | 減少       | 上升    | 減少        |
| 2  | 便宜活性碳   | 下降    | 減少       | 上升    | 減少        |
| 3  | 陽離子交換樹脂 | 上升    | 增加       | 上升    | 減少        |
| 4  | 碎磚頭     | 下降    | 減少       | 上升    | 減少        |
| 5  | 石英石     | 下降    | 減少       | 上升    | 減少        |
| 6  | 蛇木屑     | 下降    | 減少       | 上升    | 減少        |
| 7  | 椰殼活性碳   | 上升    | 增加       | 上升    | 減少        |
| 8  | 麥飯石     | 下降    | 減少       | 上升    | 減少        |
| 9  | 稻桿      | 上升    | 增加       | 上升    | 減少        |

2.過濾前後硫酸銅顏色變化與 ICP- OES 比較結果：

|                       |   |         |  |        |   |           |   |   |   |   |
|-----------------------|---|---------|--|--------|---|-----------|---|---|---|---|
| 材料                    | (1)火山沸石   |         | (2)便宜活性炭   |        | (3)陽離子交換樹脂  |           |   |   |   |   |
| 圖片                    |    |         |    |        |    |           |   |   |   |   |
| 顏色區塊                  | 淡藍色(5)  | 偏黃色(2)  | 淡藍色(5)   | 灰黑色(1) | 淡藍色(5)  | 淡藍黃色(2)   |   |   |   |   |
| 混濁度區塊                 | 混濁(5)   | 混濁(2)   | 混濁(5)  | 混濁(1)  | 混濁(5)   | 混濁(2)     |   |   |   |   |
| Cu <sup>2+</sup> 強度   | 10  | 4       | 10   | 2      | 10  | 4         |   |   |   |   |
| 材料                    | (4)碎磚塊  |         | (5)石英石   |        | (6)蛇木屑  |           |   |   |   |   |
| 圖片                    |   |         |   |        |   |           |   |   |   |   |
| 顏色區塊                  | 淡藍色(5)  | 偏黃色(1)  | 淡藍色(5)   | 淡藍色(4) | 淡藍色(5)  | 淡藍色偏黃色(4) |   |   |   |   |
| 混濁度區塊                 | 混濁(5)   | 些許澄清(1) | 混濁(5)  | 混濁(2)  | 混濁(5)   | 混濁(5)     |   |   |   |   |
| Cu <sup>2+</sup> 強度   | 10  | 2       | 10   | 6      | 10  | 9         |   |   |   |   |
| 材料                    | (7)椰殼活性炭  |         | (8)麥飯石   |        | (9)稻桿   |           |   |   |   |   |
| 圖片                    |  |         |  |        |  |           |   |   |   |   |
| 顏色區塊                  | 淡藍色(5)  | 灰黑色(1)  | 淡藍色(5)   | 淡藍色(5) | 淡藍色(5)  | 黃褐色(1)    |   |   |   |   |
| 混濁度區塊                 | 混濁(5)   | 混濁(1)   | 混濁(5)  | 混濁(3)  | 混濁(5)   | 混濁(3)     |   |   |   |   |
| Cu <sup>2+</sup> 強度   | 10  | 2       | 10   | 8      | 10  | 4         |   |   |   |   |
|                       | 過濾能力由大到小排序 (請參考數據二)   |         |  |        |   |           |   |   |   |   |
| ICP- OES 銅離子變化(斜率)    | T=60  | 活       | 椰  | 碎      | 稻   | 沸         | 陽 | 石 | 麥 | 蛇 |
| Cu <sup>2+</sup> 顏色強度 | T=60  | 2       | 2  | 3      | 4   | 4         | 4 | 6 | 8 | 9 |

| 說明  |                    |                    |                    |                    |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 圖表中我們分別以 1 至 5 級來表示水溶液的顏色強度，以 50mg/L 的硫酸銅水容易當做基準，為 5 級的顏色強度，其餘以 1 至 4 級來表示。 |                    |                    |                    |                    |
| 硫酸銅水溶液顏色強度的判斷標準   |                    |                    |                    |                    |
| (1) 各濃度硫酸銅水溶液顏色的比較  |                    |                    |                    |                    |
| 顏色愈接近未過濾的 50mg/L 硫酸銅水溶液，代表其銅離子濃度愈高，以較高級數的顏色強度來表示；愈不接近則反之。(如圖 5)             |                    |                    |                    |                    |
| (圖 5)硫酸銅色度表   |                    |                    |                    |                    |
|   |                    |                    |                    |                    |
| 1 級<br>(0~10mg/L)   | 2 級<br>(10~20mg/L) | 3 級<br>(20~30mg/L) | 4 級<br>(30~40mg/L) | 5 級<br>(40~50mg/L) |
| (2) 各濃度硫酸銅水溶液混濁度的比較   |                    |                    |                    |                    |
| 此表示水溶液中各種肉眼可觀察到的粒子的顆粒濃度，顆粒濃度愈高，則其離子愈多，以較高級數的顏色強度來表示；顆粒濃度愈低則反之。(如圖 6)        |                    |                    |                    |                    |
| (圖 6)硫酸銅混濁度表  |                    |                    |                    |                    |
|   |                    |                    |                    |                    |
| 1 級<br>(0~10mg/L)   | 2 級<br>(10~20mg/L) | 3 級<br>(20~30mg/L) | 4 級<br>(30~40mg/L) | 5 級<br>(40~50mg/L) |

#### 四、進行硫酸銅過濾與急毒性檢測

##### 過程

(一) 將九種過濾材料過濾液個別進行兩小時生物急毒性檢測(不同批蝦)

1. 從水族館購買來的沼蝦放入飼養缸中。當天或隔天進行硫酸銅過濾液急毒性檢測。
2. 根據下表採取樣水：

| 過濾時間(min) | 實驗組(濾材+硫酸銅) |      | 對照組(濾材+自來水) |      |
|-----------|-------------|------|-------------|------|
|           | T=0         | T=60 | T=0         | T=60 |
| 採樣 1L 燒杯數 | 2           | 2    | 2           | 2    |

3. 將每個採樣燒杯分別放入五隻沼蝦，每十五分鐘觀察死亡數量並記錄。
4. 觀察時以玻棒輕輕觸碰。若無反應，則觀察其鰓的擺動。

(二) 將九種過濾材料過濾液全體進行兩小時生物急毒性檢測(同批蝦)

1. 從水族館購入的沼蝦放入飼養缸中。當天或隔天進行硫酸銅過濾液急毒性檢測。
2. 根據下表採取樣水。

|            |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 採樣過濾液編號    | Cu <sup>2+</sup> | (1)  | (2)  | (3)  | (4)  | (5)  | (6)  | (7)  | (8)  | (9)  |
| 過濾時間(min)  | T=0              | T=60 |
| 採樣數 1L 燒杯數 | 2                | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |

3. 將每個採樣燒杯分別放入五隻沼蝦，每十五分鐘觀察死亡數量並記錄。
4. 觀察時以玻棒輕輕觸碰。若無反應，則觀察其鰓的擺動。

(三) 長、短時間過濾對於生物急毒性的影響

1. 配置含 50mg/L 銅離子的硫酸銅水溶液 10 升做為實驗組，進行過濾實驗。
2. 以便宜活性碳、碎磚頭、椰殼活性碳、稻桿等。將四種濾材過濾二十三小時。除了稻桿秤取 100g 進行實驗，其餘秤取 500g 進行實驗。
3. 我們分別在未過濾時取樣 2 公升，以及在過濾後 1 小時及 23 小時分別取樣 4L。
4. 進行硫酸銅過濾液急毒性檢測，並觀察記錄。

(四) 兩種組合濾材之硫酸銅過濾對於生物急毒性的影響

1. 配置含 50mg/L 銅離子的硫酸銅水溶液 10 升做為實驗組，進行過濾實驗。
2. 以稻桿及碎磚頭、稻桿及便宜活性碳等組合。將兩種組合過濾二十三小時。組合的重量總和皆為 500g，其中稻桿皆秤取 100g 進行實驗。
3. 我們分別在未過濾時取樣 2 公升，以及在過濾後 1 小時及 23 小時分別取樣 1 公升燒杯 4 杯。
4. 進行硫酸銅過濾液急毒性檢測，並觀察記錄。

## 結果

(一) 將九種過濾材料過濾液個別進行兩小時生物急毒性檢測整理得到下列表格：

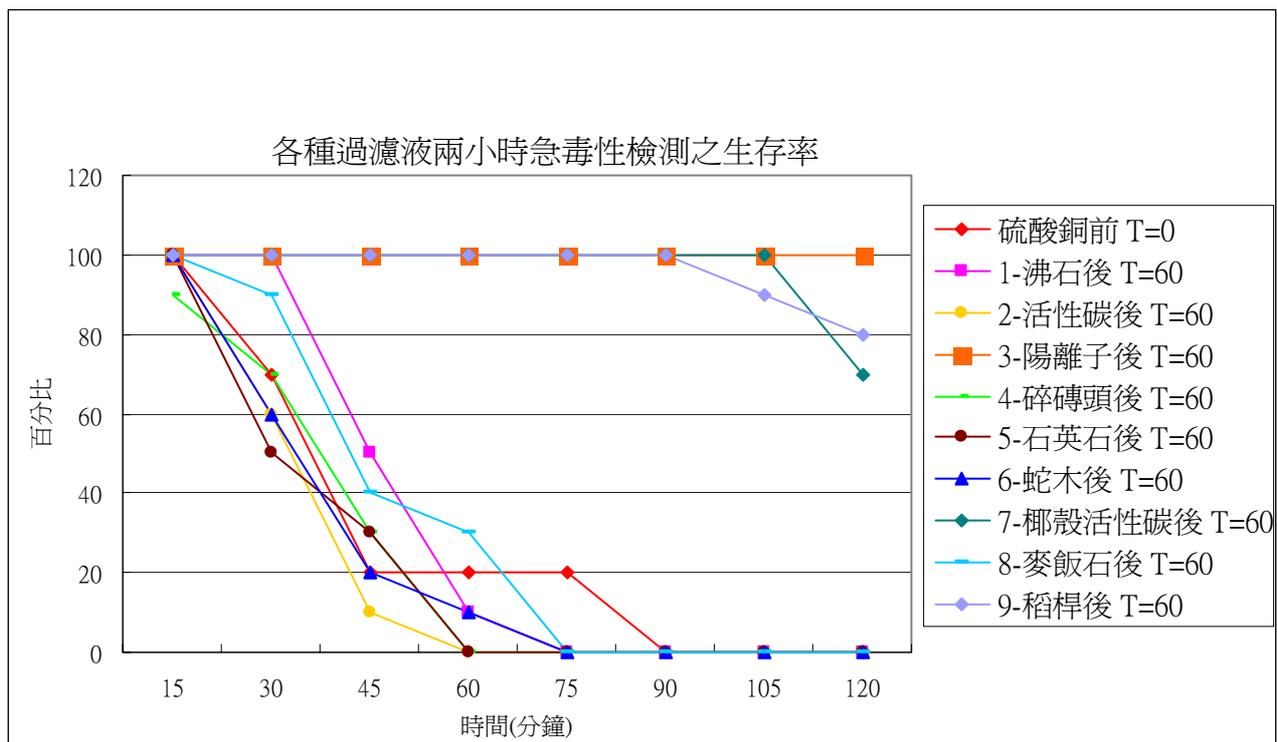
(請參考數據三)

| 編號 | 過濾材料    | 硫酸銅溶液—實驗組 |       | 自來水—對照組 |       |
|----|---------|-----------|-------|---------|-------|
|    |         | T=0       | T=60  | T=0     | T=60  |
| 1  | 火山沸石    | 毒         | 更毒    | 不具急毒性   | 不具急毒性 |
| 2  | 便宜活性碳   | 毒         | 更毒    | 不具急毒性   | 不具急毒性 |
| 3  | 陽離子交換樹脂 | 毒         | 不具急毒性 | 不具急毒性   | 不具急毒性 |
| 4  | 碎磚頭     | 毒         | 更毒    | 不具急毒性   | 不具急毒性 |
| 5  | 石英石     | 毒         | 更毒    | 不具急毒性   | 不具急毒性 |
| 6  | 蛇木屑     | 毒         | 更毒    | 不具急毒性   | 不具急毒性 |
| 7  | 椰殼活性碳   | 毒         | 不具急毒性 | 不具急毒性   | 不具急毒性 |
| 8  | 麥飯石     | 毒         | 更毒    | 不具急毒性   | 不具急毒性 |
| 9  | 稻桿      | 毒         | 不具急毒性 | 不具急毒性   | 不具急毒性 |

(二) 將九種過濾材料過濾液全體進行兩小時生物急毒性檢測整理得到下列表格：

(請參考數據四)

| 各種過濾材質兩小時急毒性檢測之生存瀘 |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| 時間<br>(分鐘)         | 硫酸銅前 | 沸石   | 活性碳  | 陽離子  | 碎磚頭  | 石英石  | 蛇木   | 椰殼活性碳 | 麥飯石  | 稻桿   |
|                    | T=0  | T=60  | T=60 | T=60 |
| 15                 | 100  | 100  | 100  | 100  | 90   | 100  | 100  | 100   | 100  | 100  |
| 30                 | 70   | 100  | 60   | 100  | 70   | 50   | 60   | 100   | 90   | 100  |
| 45                 | 20   | 50   | 10   | 100  | 30   | 30   | 20   | 100   | 40   | 100  |
| 60                 | 20   | 10   | 0    | 100  | 0    | 0    | 10   | 100   | 30   | 100  |
| 75                 | 20   | 0    | 0    | 100  | 0    | 0    | 0    | 100   | 0    | 100  |
| 90                 | 0    | 0    | 0    | 100  | 0    | 0    | 0    | 100   | 0    | 100  |
| 105                | 0    | 0    | 0    | 100  | 0    | 0    | 0    | 100   | 0    | 90   |
| 120                | 0    | 0    | 0    | 100  | 0    | 0    | 0    | 70    | 0    | 80   |



陽離子、稻桿、椰殼 > Cu<sup>2+</sup> > 麥飯石、沸石、蛇木 > 碎磚頭、石英石、活性碳

(三) 長、短時間過濾對於生物急毒性的影響

依照實驗結果整理出了以下表格：

(請參考數據五)

| 實驗結果<br>實驗濾材 | 過濾 0 小時、1 小時、23 小時<br>生存率比較 | 生物急毒性檢測<br>實驗結果 |
|--------------|-----------------------------|-----------------|
| 便宜活性碳        | 23 小時 > 0 小時 > 1 小時         | 較適合長時間過濾        |
| 椰殼活性碳        | 1 小時 > 23 小時 > 0 小時         | 較適合短時間過濾        |
| 稻桿           | 1 小時 > 0 小時 > 23 小時         | 較適合短時間過濾        |
| 碎磚頭          | 0 小時 > 23 小時 > 1 小時         | 較適合長時間過濾        |

(四) 組合濾材之過濾對生物急毒性的影響

1. 時間長短對於組合過濾對於生物急毒性的影響

依照實驗結果整理出了以下表格：

(請參考數據六)

| 實驗結果<br>實驗濾材 | 過濾 0 小時、1 小時、23 小時<br>生存率比較 | 生物急毒性檢測<br>實驗結果 |
|--------------|-----------------------------|-----------------|
| 稻桿及便宜活性碳     | 1 小時 > 0 小時 > 23 小時         | 較適合短時間過濾        |
| 稻桿及碎磚頭       | 1 小時 > 0 小時 > 23 小時         | 較適合短時間過濾        |

2. 單一濾材與組合濾材對於生物急毒性的影響

依照實驗結果整理出了以下表格：

(請參考數據八)

| 實驗結果<br>實驗濾材 | 過濾 0 小時、1 小時<br>生存率比較 | 生物急毒性檢測<br>實驗結果 |        |
|--------------|-----------------------|-----------------|--------|
| 單一           | 稻桿                    | 1 小時 > 0 小時     | 較不具急毒性 |
|              | 便宜活性碳                 | 0 小時 > 1 小時     | 較具急毒性  |
|              | 碎磚頭                   | 0 小時 > 1 小時     | 較具急毒性  |
| 組合           | 稻桿&碎磚頭                | 1 小時 > 0 小時     | 較不具急毒性 |
|              | 稻桿&便宜活性碳              | 1 小時 > 0 小時     | 較不具急毒性 |



稻桿&碎磚頭



稻桿&便宜活性碳

## 陸、討論

### 一、選用適當之生物進行實驗，並觀察其基本特性 (請參考 p.4)

- (一)至固定的水族館購買以確保蝦的來源相同，可減少誤差。
- (二)經過評估之後，沼蝦最適合進行生物急毒性檢測，為水域中較為低等的生物，對於重金屬也較敏感，一旦水源遭受污染，立即得知。沼蝦易取得，也較蜆、螺好觀察。我們現有的設備並不適合長時間馴養沼蝦，在養殖的過程中，我們面臨的最大挑戰即是水黴菌的污染，使得大量的沼蝦暴斃。若投入藥劑清除水黴菌，也會影響沼蝦的生存。為了避免人為長時間馴養的誤差，必須在實驗前一天購買沼蝦並暫時放入養殖缸待隔天進行實驗。
- (三)生物急毒性檢測可作為硫酸銅溶液過濾前、後確認是否仍具有急毒性。實驗組與對照組在 T=0 及 T=60 分別以兩個 1 升燒杯取樣。這樣的安排是為了實驗組(硫酸銅溶液)與對照組(自來水)在過濾後進行比較，另外分別比較各組 T=0 及 T=60 的生存率，以了解過濾後是否仍具有急毒性。

### 二、尋找可以利用的濾材並進行綜合評估(請參考 p.6~ p.8)

在尋找文獻的過程中我們一直有新的發現，我們所選擇實驗的九種材質依照原理可以分為三類。

#### (一)第一類是以金屬氧化物所造成的負電荷：

此類材料有沸石、碎磚頭、石英石、麥飯石。其負電荷的形成與金屬氧化物的構形有關，例如：四面體的氧化鋁或是八面體的氧化鐵皆可以產生負電荷吸附陽離子。

#### (二)第二類是以離子交換樹脂與離子置換有關：

此類材料有陽離子交換樹脂、椰殼活性碳、稻桿。一開始我們只知道陽離子交換樹脂是唯一具有離子交換特性的材料，由於導電度上升和酸鹼度上升，因此發現椰殼活性碳與稻桿也具有離子交換的特性。

#### (三)第三類是以活性碳吸附有關：

此類材料有便宜活性碳與椰殼活性碳。活性碳在其表面有未被平衡的作用力，此作用力可以吸附有機物質或是金屬離子，以往市售活性碳的功能只強調淨化、脫氯、脫色、除臭等。經過此次的實驗後證實活性碳對於銅離子具有吸附能力。

#### (四)唯一無法分類的是蛇木，因為材料屬於生物材質，實驗數據並未顯示其特殊性，無法作為判斷依據。

### 三、針對各種濾材進行硫酸銅溶液過濾實驗並了解其導電度與酸鹼度變化

(請參考 p.8, p.9, p.11)

- (一)在實驗用水方面，因無法取得大量純水，而改用易取得的自來水配置藥品以進行實驗。
- (二)在實驗組是以濾材過濾硫酸銅水溶液；對照組是以濾材過濾自來水。自來水中含有離子，而我們的濾材很有可能也會溶出離子。為了要真正求出硫酸銅導電度與

酸鹼度的變化量，必須以對照組當作是空白實驗。才能排除其他變因。

- (三)測量導電度是為了解過濾時水中離子數變化，離子增加則導電度增加；離子減少則導電度減少。我們可以依據導電度變化量來推測銅離子的變化。
- (四)測量酸鹼度是因為硫酸銅溶於水後形成銅離子與硫酸根離子，其中銅離子會與水分子結合成為氫氧化銅與氫離子，氫離子增加則使水溶液呈酸性，若銅離子減少則氫氧化銅與氫離子相對減少。我們可以依據酸鹼度變化量來推測銅離子的變化。
- (五)過濾效果最佳的是便宜活性碳。若單純用於銅離子的過濾，其效用值得推薦；但它會濾出其他對生物有害的物質。所以我們還是認為，便宜活性碳適用於工業等用途。
- (六)我們所實驗的兩種活性碳，價格的差異十分顯著。較昂貴的椰殼活性碳，其過濾後的水溶液，對生物較不具有毒性，但專門針對銅離子濃度來說，還是以便宜活性碳較佳。由此可得知便宜活性碳的特性只針對於吸附，並無注意到對於生態的影響，這就是椰殼活性與便宜活性碳的差異。

#### 四、進行硫酸銅過濾液急毒性檢測實驗(請參考 p.8~ p.12)

以下討論請參考各種材料導電度變化與酸鹼度變化圖，另外過濾前後硫酸銅顏色變化與 ICP 測試結果請參照表格：

##### (一)沸石、碎磚頭、石英石、麥飯石

沸石、碎磚頭、石英石、麥飯石的過濾原理具相似性，它們均含金屬氧化物，但其含量不一，影響銅離子過濾的效果。推測金屬氧化物所帶（負電性）越多則過濾銅離子的效果越好。過濾時導電度下降，表示水中離子減少。而酸鹼度上升，表示水中銅離子減少。在二小時生物急毒性檢測上皆具有急毒性。過濾 T=60 的毒性大於 T=0 硫酸銅溶液。由過濾前後顏色液判斷過濾銅離子的能力：碎磚頭>沸石>石英石>麥飯石。

##### (二)陽離子交換樹脂、椰殼活性碳、稻桿

陽離子交換樹脂、椰殼活性碳、稻桿的過濾原理具相似性，實驗中得知它們具有離子交換的特性。過濾時導電度上升，表示水中離子增加，水中的離子突然增加表示有大量的離子被置換下來。而酸鹼度上升，表示水中銅離子減少。在二小時生物急毒性檢測得知此三種過濾液在短時間內並不會導致沼蝦死亡，其沼蝦的生存率分別為 100%、70%、80%。由圖得知過濾 T=60 的毒性小於 T=0 硫酸銅溶液。由過濾前後顏色液判斷過濾銅離子的能力：椰殼活性碳>陽離子交換樹脂和稻桿。

##### (三)便宜活性碳

便宜活性碳過濾時導電度下降，表示水中離子減少。而酸鹼度上升，表示水中銅離子減少。從銅離子的顏色觀察出，過濾效果佳，但是卻對沼蝦具急毒性。過濾 T=60 的毒性大於 T=0 硫酸銅溶液。與椰殼活性碳最大的不同點在於它屬於吸附而非離子交換。製造活性碳可由無煙煤或是椰殼活化而成，雖說均由碳構成，但是其孔隙大小或尚未活化部分存在皆有可能會造成不一致的現象發生。

##### (四)蛇木

蛇木過濾時導電度下降，表示水中離子減少。酸鹼度上升，表示水中銅離子

減少。從銅離子的顏色觀察出，過濾效果並不理想並且對於沼蝦具有急毒性。雖然與蛇木與稻桿皆為生物材料，彼此的構造上卻相差許多，稻桿能夠吸收水分而蛇木卻相反，使得過濾時只有在表面進行，所以效果不佳。

(五) ICP-OES 銅離子變化量與顏色強度比較

1. 感應耦合電漿原子發射光譜法 (ICP - OES) 對水樣中多種金屬元素的分析，即可進行金屬元素之定性及定量。
2. 由於這是從未做過的實驗，我們必須以準確的資料作為參考值，雖然並不是我們進行 ICP- OES 實驗的，但是我們可以透過 ICP- OES 的結果確定導電度與酸鹼度變化的關係，並且證明實驗結果與推論是否相同。

|                           |      | 過濾能力由大到小排序 |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------------------------|------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ICP- OES<br>銅離子變化<br>(斜率) | T=60 | 活          | 椰 | 碎 | 稻 | 沸 | 陽 | 石 | 麥 | 蛇 |
| Cu <sup>2+</sup><br>顏色強度  | T=60 | 2          | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 6 | 8 | 9 |

3. 由上表可以得知若以肉眼判斷銅離子顏色強度與 ICP- OES 比較具有相似性。
4. 在 T=30 陽離子交換樹脂的吸附能力較 T=60 好，我們認為應該是陽離子交換樹脂在 T=30~T=60 已達飽和狀態所以無法進行離子交換，斜率改變不大。
5. 針對研究結果之硫酸銅水溶液的 T=0 中死亡的蝦，其鰓和硫酸銅水溶液沉澱物的顏色相同，我們曾考慮是否因為沉澱物阻塞鰓而導致窒息死亡。但是我們在其他的實驗組中也發現到，椰殼活性炭實驗組之實驗也會使蝦的鰓和沉澱物具有相同的顏色，卻不使蝦死亡，所以推斷並不是因為窒息而死。
6. 若要減少誤差可重複實驗，並將每次的分析結果比對，瞭解實驗數據是否值得信賴。我們在導電度與酸鹼度與生物急毒性檢測上進行了兩次的實驗，因為這兩次的實驗，讓我們更清楚知道是否有實驗誤差。以生物急毒性檢測為例，在第一次實驗時，我們每種材料的急毒性測試是在不同時間完成的，所以變因很多無法互相比較。因此我們設計了第二次的實驗，將所有過濾實驗的時間、環境、體積大小、活力…等等變因的範圍縮到最小時，各種材質生物急毒性測試具有再現性，如此就可以增加實驗的可信度。
7. 稻桿具有離子交換的特性，雖然沒有活性炭過濾效果好，但是在生物急毒性實驗結果卻對於沼蝦有較高的生存率，是天然過濾銅離子的好幫手，成本較活性炭與陽離子交換樹脂低廉，更具有利用的價值。
8. 我們在實驗中，廢水的處理是以鋼絲絨將銅離子還原成銅原子之後將上層澄清液排放。而廢料部分需要請專門處理的單位進行回收。

(六) 長、短時間過濾對生物急毒性的影響(請參考 p.13)

1. 實驗中發現便宜活性炭與碎磚頭經過 23 小時過濾之生存率較 1 小時高。推測濾材短時間內會濾出大量有毒物質，而長時間的過濾使有毒物質漸漸被吸附。
2. 實驗中發現椰殼活性炭與稻桿經過 1 小時過濾之生存率較 23 小時高。我們認為椰殼活性炭是因為它會慢慢的釋放有毒物質；而稻桿是因為它會慢慢溶質濃度增加，使沼蝦致死。

### (七)組合過濾對生物急毒性的影響

在兩個組合的過濾實驗中發現皆在 1 個小時的效果最佳。原本便宜活性碳與碎磚頭具有急毒性經由稻桿組合過濾後產生交互作用，提高生存率。

## 柒、結論

- 一、沼蝦很適合進行硫酸銅急毒性實驗，在重複的實驗中具有再現性，作為急毒性生物指標。
- 二、初步評估九種濾材，可歸納為離子交換、活性碳吸附、金屬氧化物之負電性吸引等三類功能。有許多材料如椰殼活性碳就兼具吸附與離子交換兩種功能。
- 三、經由導電度與酸鹼度可以初步推測銅離子的濃度變化。
- 四、觀察硫酸銅離子顏色強度初步將九種濾材過濾銅離子效果進行比較，其結果與 ICP-OES 相似。

活性碳、椰殼 > 碎磚頭 > 稻桿、沸石、陽離子交換 > 石英石 > 麥飯石 > 蛇木

- 五、生物急毒性測試後九種濾材急毒性之生存率進行比較。

陽離子交換、稻桿、椰殼 >  $\text{Cu}^{2+}$  > 麥飯石、沸石、蛇木 > 碎磚頭、石英石、活性碳

- 六、利用活性碳吸附原理的材質對於銅離子過濾的效果最好。
- 七、具有離子交換功能的濾材對於生物較不具毒性。
- 八、含有金屬氧化物的濾材雖然可以吸附銅離子，其過濾出之水溶液卻對沼蝦具有毒性並且超出原本硫酸銅水溶液毒性。
- 九、椰殼活性碳兼具吸附重金屬與生物急毒性檢測之生存率較高的優點。
- 十、稻桿是天然的銅離子濾材，因價格低廉所以應用於環境的可能性優於其他濾材。
- 十一、應考慮各種濾材都有其最佳過濾時間，並不是過濾時間長其效果就好。
- 十二、原本具急毒性的便宜活性碳及碎磚頭經過與稻桿的組合，可以提高生存率。
- 十三、雖然銅離子濃度越高則與沼蝦生存率成反比。但是有些含有金屬氧化物的濾材，過濾時產生的物質卻使沼蝦致死。表示不能光以銅離子的濃度就可以判定對於環境不造成影響，甚至要去考慮銅離子進入水域時是否產生其他的交互作用而影響生態。

## 捌、展望

- 一、稻桿是農業廢棄物，他不但具有鹼化土壤的功能，在實驗中我們也發現它具有過濾銅離子的能力，我們建議將它置於灌溉農田的渠道當中。
- 二、一般活性碳，在水中短時間過濾後會產生有毒物質，所以我們建議將它拿來進行長時間過濾。
- 三、土壤中含有許多金屬氧化物。如桃園縣的土壤為紅土，其成分大部分為氧化矽、氧化銅、氧化鐵。在我們的實驗中發現，不能光以銅離子的濃度作為標準，因為它過濾後可能會產生更有毒性的物質，因此我們建議衛生署應該不能以重金屬離子的濃度，來制定排放標準。

## 玖、參考資料及其他

- 一、行政院環保署公告 民 94 年 水樣急毒性檢測方法-米蝦靜水式法
- 二、行政院環保署公告 民 89 年 水中導電度測定方法-導電度計法
- 三、季國亮等 土壤表面電化學特徵及其化學表現的研究 中國科學院南京土壤研究所
- 四、梁致遠等 茶渣去除鎘、鎳、鉛及鋅的研究 國立台灣大學農業化學研究所
- 五、梁志遠等 以農產廢棄物清除水中鎘、鎳、鉛及鋅的研究 銘傳大學通識教育中心 國立台灣大學農業化學研究所
- 六、劉效蘭等 1999 海中氨基酸對  $\text{Cu}^{2+}$ -黏土例子相互作用的影響 北京輕工業學院學報 第 17 卷 第二期
- 七、黃千倫等 2005 探討亞致死濃度銅暴露對吳郭魚仔仔魚與鈣離子平衡之時間效應 生物學報 40(1):37-42
- 八、林英智 2002 奇妙的配位化學與分子機械 科學發展 358 期
- 九、林敬二等 化學大辭典 高立出版社
- 十、樊邦棠 環境工程化學 科技出版
- 十一、友偉工業股份有限公司網頁 [http://www.gwill.com.tw/t\\_chinese/m\\_tc.htm](http://www.gwill.com.tw/t_chinese/m_tc.htm)

## 評 語

031709 當我們銅在一起

本研究以環境污染及防治為題材立意甚佳。實驗以沼蝦受銅的急毒作用死亡之統計進行，由於變因甚多且藥劑控制條件未儘完善，故所做處理僅能供參考宜再深入。